

特集／量子を操る

拡がりゆく量子の不思議な姿

筒井 泉

1. 変わりゆく量子力学の姿

量子力学とはいったい何だろうか、そしてそれはどのように使えるのだろうか——この2つの疑問は、1920年代にハイゼンベルクらが量子力学の体系の基礎を築いて以来の、物理学の最重要の課題である。当初から量子力学の正しさに疑いを抱いていたアインシュタインと、相補性原理を唱えてこれに反論したボーアによる有名な論争は、ボーアの勝利に終わったとされ、暫くの間、物理学者は量子力学を使うことに集中した。その結果、原子や素粒子の成り立ちや相互作用の解明を初めとして、様々な物性現象の理解に極めて大きな成果を見たことは周知の事実である。現代科学の発展の礎はここにある。

ところが20世紀後半の微細加工技術の著しい進歩によって、量子力学に特有な現象を実際に研究室で扱えるようになり、それまでアインシュタインやボーアらが頼らざるを得なかった思考実験も現実のものとなってきた。さらに20世紀末の量子情報科学等の出現によって、量子力学が何であるかという問いが、実は量子力学をどのように使えるのかということと不可分であることが、いっそう痛切に感じられるようになったのである。量子力学の「奇妙さ」を理解する試みの時代から、その「奇妙さ」をより深く理解し、現実世界に応用する時代への転換である。

このような量子力学を取り巻く環境の変化は、アインシュタインとボーアの論争を再吟味させるとともに¹⁾、ベル不等式とその検証などを通して、量子力学の提示する新しい自然像——実在性、局所性、決定論への挑戦——の理解を促すようになった²⁾。並行して、これらの量子性の背後にある量子もつれの理解と応用の試みが、新たな世紀の始まりとともに盛んになり³⁾、今日に至っている。

この変わりゆく量子力学において、近年、特に注目すべき研究の流れに、測定と制御、量子情報の物理、および量子の領域拡大の3つがある。本特集号は、これら3つに関する研究の現状を、それぞれの分野の最先端の研究者に語ってもらったものである。読者の中には、量子力学については大学などの講義や教科書で一通り知っている方もおられるだろうが、それらの標準的な量子力学とは全く異なる斬新な量子力学の姿が各々の解説記事に見出されて、さぞかし驚かれるのではなかろうか*1)。また量子力学を全く知らない読者でも、本特集号をざっと一瞥することによって、量子力学の基礎研究の前線の雰囲気を感じ得ることができよう。

2. 測定と制御

さてここで本特集号の各記事を紹介しよう。まず測定と制御に関しては、近年、対象とする物理

*1) 新しい時代に向けた量子力学の教育の変革の必要性については、本特集号の上田正仁氏のコラムを参照。